

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-227719
(43)Date of publication of application : 15.08.2003

(51)Int.Cl. G01C 19/56
G01P 9/04
H01L 41/08
H01L 41/09
H01L 41/18

(21)Application number : 2002-300116 (71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 15.10.2002 (72)Inventor : OUCHI SATOSHI
NOZOE TOSHIYUKI
NOMURA KOJI
TAJIIKA HIROBUMI

(30)Priority

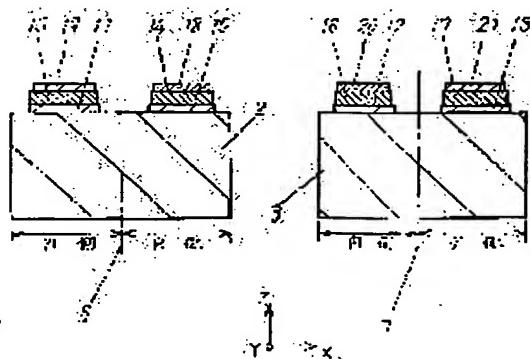
Priority number : 2001360560 Priority date : 27.11.2001 Priority country : JP

(54) THIN-FILM MICRO-MACHINE TYPE RESONATOR, THIN-FILM MICRO- MACHINE TYPE RESONATOR GYROSCOPE, NAVIGATION SYSTEM AND AUTOMOBILE USING THE RESONATOR GYROSCOPE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a thin-film micro-machine type resonator which is improved in driving efficiency, a thin-film micro-machine type resonator gyroscope which is improved in detection sensitivity with respect to impressed angular velocities by improving its driving efficiency, and a navigation system and an automobile using the resonator gyroscope.

SOLUTION: The thin-film micro-machine type resonator comprises a tuning fork having arms 2 and 3 and a base section 4 connecting the arms 2 and 3 to each other, first and second electrodes 10, 12, 11, 13 respectively and separately provided on the insides and outsides of center lines drawn on the principal surfaces 5 of the arms 2 and 3, and first and second piezoelectric thin films 14, 16, 15, and 17 respectively provided on the electrodes 10, 12, 11, and 13. The resonator also comprises third and fourth electrodes 18, 20, 19, and 21 respectively provided on the thin films 14, 16, 15, and 17.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 30.05.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2003-227719
(P2003-227719A)

(43)公開日 平成15年8月15日(2003.8.15)

(51)Int.Cl.
G 0 1 C 19/56
G 0 1 P 9/04
H 0 1 L 41/08
41/09
41/18

識別記号

F I
G 0 1 C 19/56
G 0 1 P 9/04
H 0 1 L 41/08

テ-マ-ト(参考)
2 F 1 0 5
J
D
Z

審査請求 未請求 請求項の数45 O L (全 20 頁) 最終頁に統く

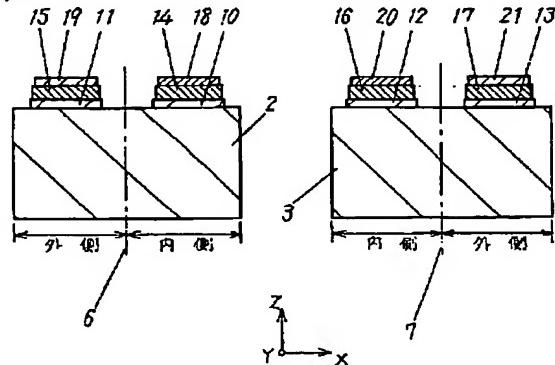
(21)出願番号 特願2002-300116(P2002-300116)
(22)出願日 平成14年10月15日(2002.10.15)
(31)優先権主張番号 特願2001-360560(P2001-360560)
(32)優先日 平成13年11月27日(2001.11.27)
(33)優先権主張国 日本 (JP)

(71)出願人 000005821
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地
(72)発明者 大内 智
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(72)発明者 野添 利幸
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(74)代理人 100097445
弁理士 岩橋 文雄 (外2名)

(54)【発明の名称】 薄膜微小機械式共振子、薄膜微小機械式共振子ジャイロ、この薄膜微小機械式共振子ジャイロを用いたナビゲーションシステム及び自動車
(57)【要約】 用いたナビゲーションシステム及び自動車

【課題】 駆動効率を向上させた薄膜微小機械式共振子、駆動効率の向上により印加された角速度に対する検出感度が向上した薄膜微小機械式共振子ジャイロ、この薄膜微小機械式共振子ジャイロを用いたナビゲーションシステム及び自動車を提供することを目的とする。

【解決手段】 アーム2、3とアーム2、3を連結する基部4とを有したシリコンからなる音叉と、アーム2、3の正面5上の中心線6、7より内側及び外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極10、11、12、13と、第1、第2の電極10、12、11、13上にそれぞれ設けられた第1、第2の圧電薄膜14、16、15、17と、第1、第2の圧電薄膜14、16、15、17上にそれぞれ設けられた第3、第4の電極18、20、19、21とから構成されたものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも2つのアームとこのアームを連結する少なくとも1つの基部とを有した非圧電材料からなる音叉と、この音叉の少なくとも1つのアームの少なくとも1つの主面上の中心線より内側及び外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極と、この第1、第2の電極上にそれぞれ設けられた第1、第2の圧電薄膜と、この第1、第2の圧電薄膜上にそれぞれ設けられた第3、第4の電極とを備え、前記第3、第4の電極に互いに逆相の交流電圧を印加することにより前記音叉がX方向に共振するように構成された薄膜微小機械式共振子。

【請求項2】 第1、第2、第3、第4の電極及び第1、第2の圧電薄膜は、アームの中心線を軸としてほぼ対称となるように配置された請求項1に記載の薄膜微小機械式共振子。

【請求項3】 第1、第2、第3、第4の電極及び第1、第2の圧電薄膜は、アームの主面のほぼ中央部から基部近傍の間に設けられた請求項1に記載の薄膜微小機械式共振子。

【請求項4】 第1、第2の電極と第1、第2の圧電薄膜の周辺部を覆うように絶縁膜を形成した請求項1に記載の薄膜微小機械式共振子。

【請求項5】 音叉は、シリコン(Si)からなる請求項1に記載の薄膜微小機械式共振子。

【請求項6】 シリコン(Si)の(110)面ウエハにおける(1-11)面または(-111)面を共振方向(X方向)と直角になるようにした請求項5に記載の薄膜微小機械式共振子。

【請求項7】 シリコン(Si)の(100)面ウエハにおける(010)面、(011)面または(001)面を共振方向(X方向)と直角になるようにした請求項5に記載の薄膜微小機械式共振子。

【請求項8】 シリコンからなる音叉の主面上に設けられた第1、第2の電極は、下部に設けられたTi膜と上部に設けられたPt-Ti膜からなる請求項5に記載の薄膜微小機械式共振子。

【請求項9】 Pt-Ti膜と圧電薄膜との間には、さらにランタンとマグネシウムが添加されたチタン酸鉛(PZT)膜が設けられた請求項8に記載の薄膜微小機械式共振子。

【請求項10】 圧電薄膜は、チタン酸ジルコニア(PZT)またはMg、Nb、Mnの内から少なくとも1つが加えられたチタン酸ジルコニア(PZT)系からなる請求項1に記載の薄膜微小機械式共振子。

【請求項11】 圧電薄膜は、(001)面がアームの主面に平行に配向した菱面体晶構造または(111)面がアームの主面に平行に配向した正方晶構造である請求項10に記載の薄膜微小機械式共振子。

【請求項12】 第3、第4の電極は、下部に設けられ

たTi膜と上部に設けられたAu膜からなる請求項1に記載の薄膜微小機械式共振子。

【請求項13】 第1と第4の電極が同相及び第2と第3の電極が同相並びに前記第1と第2の電極が逆相になるように交流電圧を印加した請求項1に記載の薄膜微小機械式共振子。

【請求項14】 少なくとも2つのアームとこのアームを連結する少なくとも1つの基部とを有した非圧電材料からなる音叉と、この音叉の少なくとも1つのアームの少なくとも1つの主面上の中心線より内側及び外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極と、この第1、第2の電極上にそれぞれ設けられた第1、第2の圧電薄膜と、この第1、第2の圧電薄膜上にそれぞれ設けられた第3、第4の電極とを備え、前記第3、第4の電極に互いに逆相の交流電圧を印加することにより前記音叉がX方向に共振するように構成された薄膜微小機械式共振子。

【請求項15】 第1、第2、第3、第4の電極及び第1、第2の圧電薄膜は、アームの中心線を軸としてほぼ対称となるように配置された請求項14に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項16】 駆動部は、少なくともいずれか一方のアームの少なくともいずれか一方の主面のほぼ中央部から基部近傍の間に設けた請求項14に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項17】 検知部は、少なくともいずれか一方のアームの少なくともいずれか一方の主面のほぼ中央部から基部近傍の間に設けた請求項14に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項18】 検知部は、アームの主面上に配置された第1、第2の電極に対して離間するように設けられた第5の電極と、この第5の電極上に設けられた第3の圧電薄膜と、この第3の圧電薄膜上に設けられた第6の電極とから構成された請求項14に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項19】 第1、第2の電極と第1、第2の圧電薄膜の周辺部を覆うように絶縁膜が形成された請求項14に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項20】 第5の電極は第1、第2の電極よりもアームの先端側に設けられ、前記第5の電極は前記第1、第2の電極の間にそれぞれ離間するように設けられた第1の引き出し電極と接続されるとともに、少なくとも第1、第2の電極及び第1、第2の圧電薄膜の周辺部並びに前記第1の引き出し電極が絶縁膜で覆われ、第6の電極は前記絶縁膜上でかつ、前記第1、第2の圧電薄

膜、または／及び、第3、第4の電極の間に離間するように設けられた第2の引き出し電極と接続され、かつ、第1、第2、第3、第4、第5、第6の電極、第1、第2の引き出し電極及び第1、第2、第3の圧電薄膜がアームの中心線に対してほぼ対称になるように構成された請求項18に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項21】 音叉は、シリコン(Si)からなる請求項14に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項22】 シリコン(Si)の(110)面ウエハにおける(1-11)面または(-111)面を共振方向(X方向)と直角になるようにした請求項21に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項23】 シリコン(Si)の(100)面ウエハにおける(010)面、(011)面または(001)面の共振方向(X方向)と直角になるようにした請求項21に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項24】 シリコンからなる音叉の主面上に設けられた第1、第2、第5の電極は、下部に設けられたTi膜と上部に設けられたPt-Ti膜からなる請求項21に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項25】 Pt-Ti膜と圧電薄膜との間には、さらにランタンとマグネシウムが添加されたチタン酸鉛(PLMT)膜が設けられた請求項24に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項26】 圧電薄膜は、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)、または、Mg, Nb, Mnの内から少なくとも1つが加えられたチタン酸ジルコン酸鉛(PZT)系からなる請求項14, 18に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項27】 圧電薄膜は、(001)面がアームの正面に平行に配向した菱面体晶構造または(111)面がアームの正面に平行に配向した正方晶構造である請求項26に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項28】 第3、第4、第6の電極は、下部に設けられたTi膜と上部に設けられたAu膜からなる請求項18に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項29】 第1と第4の電極が同相及び第2と第3の電極が同相並びに前記第1と第2の電極が逆相になるように交流電圧を印加した請求項14に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項30】 請求項14, 18, 20に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロを用いたナビゲーションシステム。

【請求項31】 請求項14, 18, 20に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロをヨーレート、ローリング、ピッキングのいずれかを検出するセンサとして用いた自動車。

【請求項32】 少なくとも2つのアームとこのアームを連結する少なくとも1つの基部とを有した非圧電材料からなる音叉と、この音叉の少なくとも1つのアームの

少なくとも1つの主面上の中心線より内側及び外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極と前記第1、第2の電極上にそれぞれ設けられた第1、第2の圧電薄膜と前記第1、第2の圧電薄膜上にそれぞれ設けられた第3、第4の電極とを有する駆動部と、前記主面上に設けられた前記第1、第2の電極に対して離間しかつ前記第1、第2の電極よりも前記アームの先端側に設けられた第5の電極と前記第5の電極上に設けられた第6の電極とを有する検知部と、前記第1、第2の電極の間に離間するように設けられ前記第5の電極と接続された第1の引き出し電極と前記第1の引き出し電極上に設けられた第4の圧電薄膜と前記第4の圧電薄膜上に設けられ前記第6の電極と接続された第2の引き出し電極とを有するリード部とを備え、前記第3、第4の電極に互いに逆相の交流電圧を印加することにより前記音叉がX方向に共振し、印加された角速度により前記音叉のアームの正面に直角の方向(Z方向)に発生するコリオリ力に起因した振動によって生ずる電荷を前記第6の電極により検出するよう構成された薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項33】 音叉は、シリコン(Si)からなる請求項32に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項34】 シリコン(Si)の(110)面ウエハにおける(1-11)面または(-111)面を共振方向(X方向)と直角になるようにした請求項33に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項35】 シリコン(Si)の(100)面ウエハにおける(010)面、(011)面または(001)面を共振方向(X方向)と直角になるようにした請求項33に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項36】 シリコンからなる音叉の主面上に設けられた第1、第2、第5の電極、第1の引き出し電極は、下部に設けられたTi膜と上部に設けられたPt-Ti膜からなる請求項33に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項37】 Pt-Ti膜と圧電薄膜との間には、さらにランタンとマグネシウムが添加されたチタン酸鉛(PLMT)膜が設けられた請求項36に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項38】 圧電薄膜は、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)、または、Mg, Nb, Mnの内から少なくとも1つが加えられたチタン酸ジルコン酸鉛(PZT)系からなる請求項32に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項39】 圧電薄膜は、(001)面がアームの正面に平行に配向した菱面体晶構造または(111)面がアームの正面に平行に配向した正方晶構造である請求項38に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項40】 駆動部は、少なくともいずれか一方の

アームの少なくともいずれか一方の正面のほぼ中央部から基部近傍の間に設けた請求項32に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項41】 第3、第4、第6の電極、第2の引き出し電極は、下部に設けられたTi膜と上部に設けられたAu膜からなる請求項32に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項42】 第1、第2、第3、第4、第5、第6の電極、第1、第2の引き出し電極及び第1、第2、第3、第4の圧電薄膜がアームの中心線に対してほぼ対称になるように配置された請求項32に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項43】 第1と第4の電極が同相及び第2と第3の電極が同相並びに前記第1と第2の電極が逆相になるように交流電圧を印加した請求項32に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロ。

【請求項44】 請求項32に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロを用いたナビゲーションシステム。

【請求項45】 請求項32に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロをヨーレート、ローリング、ピッティングのいずれかを検出するセンサとして用いた自動車。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は薄膜微小機械式共振子、薄膜微小機械式共振子ジャイロ、この薄膜微小機械式共振子ジャイロを用いたナビゲーションシステム及び自動車に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来の薄膜微小機械式共振子ジャイロとしては、特許文献1に記載されたものが知られている。この薄膜微小機械式共振子ジャイロについて、図14、図15を用いて説明する。図14はこの薄膜微小機械式共振子ジャイロの斜視図である。図15は図14に示す薄膜微小機械式共振子ジャイロの駆動部のE-E断面図である。

【0003】 図14において、101は2つのアーム102、103を備えた非圧電材からなる音叉、104、105は音叉101のアーム102、103の主面上にそれぞれ配置された圧電薄膜、106、107、108、109、110、111は各圧電薄膜104、105へそれぞれ接続された電極である。電極107、108、110、111に交流電圧を印加することにより音叉101が共振する。

【0004】 図15において、121はアーム102の中心線、131は圧電薄膜104においてその上部に電極107、108が設けられていない部分の幅、141は圧電薄膜104に対して電極107から電極108に向かって加わる電界の方向を示す矢印である。

【0005】

【特許文献1】 米国特許第5438231号公報

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 このような薄膜微小機械式共振子ジャイロにおいては、電極107、108にそれぞれ対向する電極106が連続した一枚の形状をしているため、矢印141に示すような駆動に寄与しない電界成分が発生しやすい。

【0007】 また、電極107、108の下に設けられた圧電薄膜104も連続した一枚の形状をしているため、例えば、電極107と電極106に挟まれた圧電薄膜104がY軸方向に伸びようとする時に、連続した圧電薄膜104の幅131の存在により、その伸びが抑制されてしまう。同じく、電極108と電極106に挟まれた圧電薄膜104がY軸方向に縮もうとする時に、連続した圧電薄膜104の幅131の存在により、その縮みが抑制されてしまう。

【0008】 上述のような要因により、音叉101の駆動効率が低下するという課題を有していた。

【0009】 本発明はこの課題を解決するものであり、駆動効率を向上させた薄膜微小機械式共振子、駆動効率の向上により印加された角速度に対する検出感度が向上した薄膜微小機械式共振子ジャイロ、この薄膜微小機械式共振子ジャイロを用いたナビゲーションシステム及び自動車を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】 この課題を解決するためには本発明の薄膜微小機械式共振子は、少なくとも2つのアームとこのアームを連結する少なくとも1つの基部とを有した非圧電材料からなる音叉と、この音叉の少なくとも1つのアームの少なくとも1つの主面上の中心線より内側及び外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極と、この第1、第2の電極上にそれぞれ設けられた第1、第2の圧電薄膜と、この第1、第2の圧電薄膜上にそれぞれ設けられた第3、第4の電極とを備え、前記第3、第4の電極に互いに逆相の交流電圧を印加することにより前記音叉がX方向に共振するように構成されている。

【0011】 この構成により、駆動に寄与しない電界成分を低減させ、かつ、圧電薄膜の自由な伸縮を妨げないため、駆動効率を向上させることができる。

【0012】 また、本発明の薄膜微小機械式共振子ジャイロは、少なくとも2つのアームとこのアームを連結する少なくとも1つの基部とを有した非圧電材料からなる音叉と、この音叉の少なくとも1つのアームの少なくとも1つの主面上の中心線より内側及び外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極と前記第1、第2の電極上にそれぞれ設けられた第1、第2の圧電薄膜と前記第1、第2の圧電薄膜上にそれぞれ設けられた第3、第4の電極とを有する駆動部と、前記音叉の少なくとも1つのアームの少なくとも1つの主面上に設けられた検知部とを備え、前記第3、第4の電極に互いに

逆相の交流電圧を印加することにより前記音叉がX方向に共振し、印加された角速度により前記音叉のアームの主面に直角の方向（Z方向）に発生するコリオリ力に起因した前記アームの撓みを前記検知部により電気的または光学的な出力として検出するように構成されている。

【0013】この構成により、駆動に寄与しない電界成分を低減させ、かつ、圧電薄膜の自由な伸縮を妨げ難いため、駆動効率が向上し、印加された角速度に対する検出感度が向上する。

【0014】また、本発明の薄膜微小機械式共振子ジャイロは、少なくとも2つのアームとこのアームを連結する少なくとも1つの基部とを有した非圧電材料からなる音叉と、この音叉の少なくとも1つのアームの少なくとも1つの主面上の中心線より内側及び外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極と前記第1、第2の電極上にそれぞれ設けられた第1、第2の圧電薄膜と前記第1、第2の圧電薄膜上にそれぞれ設けられた第3、第4の電極とを有する駆動部と、前記主面上に設けられた前記第1、第2の電極に対して離間しかつ前記第1、第2の電極よりも前記アームの先端側に設けられた第5の電極と前記第5の電極上に設けられた第3の圧電薄膜と前記第3の圧電薄膜上に設けられた第6の電極とを有する検知部と、前記第1、第2の電極の間に離間するように設けられ前記第5の電極と接続された第1の引き出し電極と前記第1の引き出し電極上に設けられた第4の圧電薄膜と前記第4の圧電薄膜上に設けられ前記第6の電極と接続された第2の引き出し電極とを有するリード部とを備え、前記第3、第4の電極に互いに逆相の交流電圧を印加することにより前記音叉がX方向に共振し、印加された角速度により前記音叉のアームの主面に直角の方向（Z方向）に発生するコリオリ力に起因した振動によって生ずる電荷を前記第6の電極により検出するように構成されている。

【0015】この構成により、駆動に寄与しない電界成分を低減させ、かつ、圧電薄膜の自由な伸縮を妨げ難いため、駆動効率が向上し、印加された角速度に対する検出感度が向上する。さらに、第1の引き出し電極と第2の引き出し電極の間の絶縁膜として第4の圧電薄膜が用いられているため、量産性が一段と向上する。

【0016】

【発明の実施の形態】本発明の請求項1に記載の発明は、少なくとも2つのアームとこのアームを連結する少なくとも1つの基部とを有した非圧電材料からなる音叉と、この音叉の少なくとも1つのアームの少なくとも1つの主面上の中心線より内側及び外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極と、この第1、第2の電極上にそれぞれ設けられた第1、第2の圧電薄膜と、この第1、第2の圧電薄膜上にそれぞれ設けられた第3、第4の電極とを備え、前記第3、第4の電極に互いに逆相の交流電圧を印加することにより前記音叉がX

方向に共振するように構成されているため、駆動に寄与しない電界成分を低減させ、かつ、圧電薄膜の自由な伸縮を妨げず、駆動効率が向上するという作用を有する。

【0017】請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、第1、第2、第3、第4の電極及び第1、第2の圧電薄膜は、アームの中心線を軸としてほぼ対称となるように配置されているため、第2、第3の電極に交流電圧を印加した際に中心線を境にして圧電薄膜の左右に発生する駆動電界のバランスが良くなり、共振子において所定の振動方向以外への振動漏れが発生にくく、駆動効率がより一層向上するという作用を有する。

【0018】請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、第1、第2、第3、第4の電極及び第1、第2の圧電薄膜は、アームの主面のほぼ中央部から基部近傍の間に設けられているため、2次モードの共振周波数におけるアドミッタンスを小さくすることが可能となり、振動の安定性が高まるという作用を有する。

【0019】請求項4に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、第1、第2の電極と第1、第2の圧電薄膜の周辺部を覆うように絶縁膜を形成しているため、仮に第3、第4の電極、または、第1、第2の圧電薄膜のいずれかのバターンニングにずれが生じた場合でも第3、第4の電極と第1、第2の電極との短絡を防ぐことができるという作用を有する。

【0020】請求項5に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、音叉がシリコン（Si）からなるため、共振子の形状を加工する際に半導体プロセス技術を使用することができ、高精度に共振子を加工することができるばかりか、機械的強度が大きいため大きな振幅で音叉を共振させることができるとするという作用を有する。

【0021】請求項6に記載の発明は、請求項5に記載の発明において、シリコン（Si）の（110）面ウエハにおける（1-11）面または（-111）面を共振方向（X方向）と直角になるようにしているため、振動方向に対してスティフネスの高い方向が利用でき固有共振周波数の高い共振子が得られるという作用を有する。

【0022】請求項7に記載の発明は、請求項5に記載の発明において、シリコン（Si）の（100）面ウエハにおける（010）面、（011）面または（001）面を共振方向（X方向）と直角になるようにしているため、角度のズレに対するスティフネスの変化が小さく音叉の固有共振周波数のバラツキの小さい共振子が得られるという作用を有する。

【0023】請求項8に記載の発明は、請求項5に記載の発明において、シリコンからなる音叉の主面上に設けられた第1、第2の電極は、下部に設けられたTi膜と上部に設けられたPt-Ti膜からなるため、Ti膜はシリコン及びPt-Ti膜と密着性が強固で、Pt-Ti

i膜はP Z T等の圧電薄膜の配向を良好にするという作用を有する。

【0024】請求項9に記載の発明は、請求項8に記載の発明において、P t-T i膜と圧電薄膜との間には、さらにランタンとマグネシウムが添加されたチタン酸鉛（PLMT）膜が設けられているため、P Z T等の圧電薄膜の良好な配向を得るための製造条件の許容範囲を広くすることができるという作用を有する。

【0025】請求項10に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、圧電薄膜がチタン酸ジルコニア酸鉛（P Z T）またはMg, Nb, Mnの内から少なくとも1つが加えられたチタン酸ジルコニア酸鉛（P Z T）系からなるため、圧電薄膜の圧電定数が大きく、電気・機械変換効率が高くなるという作用を有する。

【0026】請求項11に記載の発明は、請求項10に記載の発明において、圧電薄膜の（001）面がアームの主面に平行に配向した菱面体晶構造または（111）面がアームの主面に平行に配向した正方晶構造であるため、印加された駆動電界方向に対して複数の分極ベクトルの角度が全て等しくなり、ヒステリシスの少ない共振子を実現できるという作用を有する。

【0027】請求項12に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、第3、第4の電極は、下部に設けられたT i膜と上部に設けられたA u膜からなるため、T i膜はP Z T等の圧電薄膜とA u膜と密着性が強固で、A u膜は電気抵抗が小さく、かつ、安定な上部電極を構成できるという作用を有する。

【0028】請求項13に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、第1と第4の電極が同相及び第2と第3の電極が同相並びに前記第1と第2の電極が逆相になるように交流電圧を印加しているため、各圧電薄膜へ印加できる駆動電界を大きくできると同時に、各圧電薄膜へ印加する駆動電界の微調整が可能になるという作用を有する。さらに、起動時間の短縮化、低消費電力化を図ることも可能になる。

【0029】請求項14に記載の発明は、少なくとも2つのアームとこのアームを連結する少なくとも1つの基部とを有した非圧電材料からなる音叉と、この音叉の少なくとも1つのアームの少なくとも1つの主面上の中心線より内側及び外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極と前記第1、第2の電極上にそれぞれ設けられた第1、第2の圧電薄膜と前記第1、第2の圧電薄膜上にそれぞれ設けられた第3、第4の電極とを有する駆動部と、前記音叉の少なくとも1つのアームの少なくとも1つの主面上に設けられた検知部とを備え、前記第3、第4の電極に互いに逆相の交流電圧を印加することにより前記音叉がX方向に共振し、印加された角速度により前記音叉のアームの主面に直角の方向（Z方向）に発生するコリオリ力に起因した前記アームの撓みを前記検知部により電気的または光学的な出力として検

出するように構成されているため、駆動に寄与しない電界成分を低減させ、かつ、圧電薄膜の自由な伸縮を妨げ難いため、駆動効率が向上し、印加された角速度に対する検出出力の感度が向上するという作用を有する。

【0030】請求項15に記載の発明は、請求項14に記載の発明において、第1、第2、第3、第4の電極及び第1、第2の圧電薄膜は、アームの中心線を軸としてほぼ対称となるように配置されているため、第3、第4の電極に交流電圧を印加した際に中心線を境にして離間して配置された各圧電薄膜に印加される駆動電界のバランスが良くなり、共振子ジャイロにおいて所定の振動方向以外への振動漏れが発生しにくく、印加された角速度に対する検出出力の高品位化と一層の高感度化が図れるという作用を有する。

【0031】請求項16に記載の発明は、請求項14に記載の発明において、駆動部は少なくともいずれか一方のアームの少なくともいずれか一方の主面のほぼ中央部から基部近傍の間に設けられているため、2次モードの共振周波数におけるアドミッタンスを小さくすることが可能となり、振動の安定性が高まり、角速度に対する検出出力の精度が高くなるという作用を有する。

【0032】請求項17に記載の発明は、請求項14に記載の発明において、検知部が少なくともいずれか一方のアームの少なくともいずれか一方の主面のほぼ中央部から基部近傍の間に設けられているため、検出部がコリオリ力に起因して発生する応力の大きくなる部位があり、印加された角速度に対する検出出力の高感度化が図れるという作用を有する。

【0033】請求項18に記載の発明は、請求項14に記載の発明において、検知部がアームの主面上に配置された第1、第2の電極に対して離間するように設けられた第5の電極と、この第5の電極上に設けられた第3の圧電薄膜と、この第3の圧電薄膜上に設けられた第6の電極とから構成されているため、駆動部と検知部を構成する圧電薄膜が離間することで、第2、第3の駆動電極と第4の検出電極間に発生する容量結合成分を低減することができ、印加された角速度に対する検出出力の安定化が図れるという作用を有する。

【0034】請求項19に記載の発明は、請求項14に記載の発明において、第1、第2の電極と第1、第2の圧電薄膜の周辺部を覆うように絶縁膜が形成されているため、仮に第3、第4の電極、または、第1、第2の圧電薄膜のいずれかのパターンニングに大きなずれが生じた場合でも第3、第4の電極と第1、第2の電極との短絡を防ぐができるという作用を有する。

【0035】請求項20に記載の発明は、請求項18に記載の発明において、第5の電極は第1、第2の電極よりもアームの先端側に設けられ、前記第5の電極は前記第1、第2の電極の間にそれぞれ離間するように設けられた第1の引き出し電極と接続されるとともに、少なく

とも第1、第2の電極及び第1、第2の圧電薄膜の周辺部並びに前記第1の引き出し電極が絶縁膜で覆われ、第6の電極は前記絶縁膜上でかつ、前記第1、第2の圧電薄膜、または／及び、第3、第4の電極の間に離間するように設けられた第2の引き出し電極と接続され、かつ、第1、第2、第3、第4、第5、第6の電極、第1、第2の引き出し電極及び第1、第2、第3の圧電薄膜がアームの中心線に対してほぼ対称になるように構成されているため、第3、第4の電極と第6の電極及び第3、第4の電極と第2の引き出し電極間に発生する容量結合成分をキャンセルすることができるばかりか、X方向への駆動振動時に第6の電極に発生する電荷をキャンセルできるという作用を有する。

【0036】請求項21に記載の発明は、請求項14に記載の発明において、音叉がシリコン(Si)からなるため、音叉形状に加工する際に半導体プロセス技術を使用することができ、高精度に加工することが可能となるばかりか、機械的強度が大きいため大きい振幅で音叉を共振でき、印加された角速度に対する検出出力の高感度化を図ることができるという作用を有する。

【0037】請求項22に記載の発明は、請求項21に記載の発明において、シリコン(Si)の(110)面ウエハにおける(1-11)面または(-111)面を共振方向(X方向)と直角になるようにしているため、振動方向に対してスティフェスの高い方向が利用でき固有共振周波数の高い共振子からなるジャイロが得られるという作用を有する。

【0038】請求項23に記載の発明は、請求項21に記載の発明において、シリコン(Si)の(100)面ウエハにおける(010)面、(011)面または(001)面の共振方向(X方向)と直角になるようにしているため、角度のズレに対するスティフェスの変化が小さくなり音叉の固有共振周波数のバラツキの小さい共振子からなるジャイロが得られるという作用を有する。

【0039】請求項24に記載の発明は、請求項21に記載の発明において、シリコンからなる音叉の主面上に設けられた第1、第2、第5の電極は、下部に設けられたTi膜と上部に設けられたPt-Ti膜からなるため、Ti膜はシリコン及びPt-Ti膜と密着性が強固で、Pt-Ti膜はPZT等の圧電薄膜の配向を良好にするという作用を有する。

【0040】請求項25に記載の発明は、請求項24に記載の発明において、Pt-Ti膜と圧電薄膜との間には、さらにランタンとマグネシウムが添加されたチタン酸鉛(PZMT)膜が設けられているため、PZT等の圧電薄膜の良好な配向を得るために製造条件の許容範囲を広くすることができるという作用を有する。

【0041】請求項26に記載の発明は、請求項14、18に記載の発明において、圧電薄膜がチタン酸ジルコニア酸鉛(PZT)、または、Mg、Nb、Mnの内から

少なくとも1つが加えられたチタン酸ジルコニア酸鉛(PZT)系からなるため、圧電薄膜の圧電定数が大きく、電気・機械変換効率が高くなり、印加された角速度に対する検出出力の高感度化を図ることができるという作用を有する。

【0042】請求項27に記載の発明は、請求項26に記載の発明において、圧電薄膜は、(001)面がアームの正面に平行に配向した菱面体晶構造または(111)面がアームの正面に平行に配向した正方晶構造であるため、印加された駆動電界の方向に対して複数の分極ペクトルの角度が全て等しくなり、印加された角速度に対する検出出力の安定性が得られるという作用を有する。

【0043】請求項28に記載の発明は、請求項18に記載の発明において、第3、第4、第6の電極は、下部に設けられたTi膜と上部に設けられたAu膜からなるため、Ti膜はPZT等の圧電薄膜とAu膜と密着性が強固で、Au膜は電気抵抗が小さく、かつ、安定な上部電極を構成できるという作用を有する。

【0044】請求項29に記載の発明は、請求項14に記載の発明において、第1と第4の電極が同相及び第2と第3の電極が同相並びに前記第1と第2の電極が逆相になるように交流電圧を印加しているため、各圧電薄膜へ印加できる駆動電界により大きくでき、駆動効率がより向上し印加された角速度に対する検出感度をより向上させることができる。また、起動時間の短縮化、低消費電力化を図ることも可能になる。

【0045】請求項30に記載の発明は、請求項14、18、20に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロを用いたナビゲーションシステムであるため、共振子ジャイロからの高精度な出力に基づき、ナビゲーションシステムの高精度化が図れるという作用を有する。

【0046】請求項31に記載の発明は、請求項14、18、20に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロをヨーレート、ローリング、ピッティングのいずれかを検出するセンサとして用いた自動車であるため、共振子ジャイロからの高精度な出力に基づき、自動車の安定走行及びエアバックシステムにおける高精度な制御が可能になるという作用を有する。

【0047】請求項32に記載の発明は、少なくとも2つのアームとこのアームを連結する少なくとも1つの基部とを有した非圧電材料からなる音叉と、この音叉の少なくとも1つのアームの少なくとも1つの主面上の中心線より内側及び外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極と前記第1、第2の電極上にそれぞれ設けられた第1、第2の圧電薄膜と前記第1、第2の圧電薄膜上にそれぞれ設けられた第3、第4の電極とを有する駆動部と、前記主面上に設けられた前記第1、第2の電極に対して離間しつつ前記第1、第2の電極よりも前記アームの先端側に設けられた第5の電極と前記第

5の電極上に設けられた第3の圧電薄膜と前記第3の圧電薄膜上に設けられた第6の電極とを有する検知部と、前記第1、第2の電極の間に離間するように設けられ前記第5の電極と接続された第1の引き出し電極と前記第1の引き出し電極上に設けられた第4の圧電薄膜と前記第4の圧電薄膜上に設けられ前記第6の電極と接続された第2の引き出し電極とを有するリード部とを備え、前記第3、第4の電極に互いに逆相の交流電圧を印加することにより前記音叉がX方向に共振し、印加された角速度により前記音叉のアームの主面に直角の方向（Z方向）に発生するコリオリ力に起因した振動によって生ずる電荷を前記第6の電極により検出するように構成されているため、駆動に寄与しない電界成分を低減させ、かつ、圧電薄膜の自由な伸縮を妨げ難いため、駆動効率が向上し、印加された角速度に対する検出出力の感度が向上するという作用を有する。さらに、第1の引き出し電極と第2の引き出し電極の間の絶縁膜として第4の圧電薄膜が用いられているため、量産性が一段と向上する。

【0048】請求項33に記載の発明は、請求項32に記載の発明において、音叉がシリコン（Si）からなるため、音叉形状に加工する際に半導体プロセス技術を使用することができ、高精度に加工することが可能となるばかりか、機械的強度が大きいため大きな振幅で音叉を共振でき、印加された角速度に対する検出出力の高感度化を図ることができるという作用を有する。

【0049】請求項34に記載の発明は、請求項33に記載の発明において、シリコン（Si）の（110）面ウエハにおける（1-11）面または（-111）面を共振方向（X方向）と直角になるようにしているため、振動方向に対してスティフネスの高い方向が利用でき固有共振周波数の高い共振子からなるジャイロが得られるという作用を有する。

【0050】請求項35に記載の発明は、請求項33に記載の発明において、シリコン（Si）の（100）面ウエハにおける（010）面、（011）面または（001）面を共振方向（X方向）と直角になるようにしているため、角度のズレに対するスティフネスの変化が小さくなり音叉の固有共振周波数のバラツキの小さい共振子からなるジャイロが得られるという作用を有する。

【0051】請求項36に記載の発明は、請求項33に記載の発明において、シリコンからなる音叉の主面上に設けられた第1、第2、第5の電極、第1の引き出し電極は、下部に設けられたTi膜と上部に設けられたPt-Ti膜からなるため、Ti膜はシリコン及びPt-Ti膜と密着性が強固で、Pt-Ti膜はPZT等の圧電薄膜の配向を良好にするという作用を有する。

【0052】請求項37に記載の発明は、請求項36に記載の発明において、Pt-Ti膜と圧電薄膜との間に、さらにランタンとマグネシウムが添加されたチタン酸鉛（PLMT）膜が設けられているため、PZT等の

圧電薄膜の良好な配向を得るために製造条件の許容範囲を広くすることができるという作用を有する。

【0053】請求項38に記載の発明は、請求項32に記載の発明において、圧電薄膜がチタン酸ジルコニア（PZT）、または、Mg、Nb、Mnの内から少なくとも1つが加えられたチタン酸ジルコニア（PZT）系からなるため、圧電薄膜の圧電定数が大きく、電気・機械変換効率が高くなり、印加された角速度に対する検出出力の高感度化を図ることができるという作用を有する。

【0054】請求項39に記載の発明は、請求項38に記載の発明において、圧電薄膜は、（001）面がアームの主面に平行に配向した菱面体晶構造または（111）面がアームの主面に平行に配向した正方晶構造であるため、印加された駆動電界の方向に対して複数の分極ペクトルの角度が全て等しくなり、印加された角速度に対する検出出力の安定性が得られるという作用を有する。

【0055】請求項40に記載の発明は、請求項32に記載の発明において、駆動部が少なくともいずれか一方のアームの少なくともいずれか一方の主面のほぼ中央部から基部近傍の間に設けられているため、2次モードの共振周波数におけるアドミッタンスを小さくすることが可能となり、振動の安定性が高まり、角速度に対する検出出力の精度が高くなるという作用を有する。

【0056】請求項41に記載の発明は、請求項32に記載の発明において、第3、第4、第6の電極、第2の引き出し電極は、下部に設けられたTi膜と上部に設けられたAu膜からなるため、Ti膜はPZT等の圧電薄膜とAu膜と密着性が強固で、Au膜は電気抵抗が小さく、かつ、安定な上部電極を構成できるという作用を有する。

【0057】請求項42に記載の発明は、請求項32に記載の発明において、第1、第2、第3、第4、第5、第6の電極、第1、第2の引き出し電極及び第1、第2、第3、第4の圧電薄膜がアームの中心線に対してほぼ対称になるように配置されているため、第3、第4の電極と第6の電極及び第3、第4の電極と第2の引き出し電極間に発生する容量結合成分をキャンセルすることができるばかりか、X方向への駆動振動時に第6の電極に発生する電荷をキャンセルできるという作用を有する。

【0058】請求項43に記載の発明は、請求項32に記載の発明において、第1と第4の電極が同相及び第2と第3の電極が同相並びに前記第1と第2の電極が逆相になるように交流電圧を印加しているため、各圧電薄膜へ印加できる駆動電界をより大きくでき、駆動効率がより向上し印加された角速度に対する検出感度をより向上させることができる。また、起動時間の短縮化、低消費電力化を図ることも可能になる。

【0059】請求項44に記載の発明は、請求項32に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロを用いたナビゲーションシステムであるため、共振子ジャイロからの高精度な出力に基づき、ナビゲーションシステムの高精度化が図れるという作用を有する。

【0060】請求項45に記載の発明は、請求項32に記載の薄膜微小機械式共振子ジャイロをヨーレート、ローリング、ピッティングのいずれかを検出するセンサとして用いた自動車であるため、共振子ジャイロからの高精度な出力に基づき、自動車の安定走行及びエアバックシステムにおける高精度な制御が可能になるという作用を有する。

【0061】以下、本発明の実施の形態について、図1から図13を用いて説明する。

【0062】(実施の形態1) 図1は本発明の薄膜微小機械式共振子の実施の形態1の斜視図、図2は同共振子のアームのA-A断面図、図3は同共振子の駆動部の動作を説明するための斜視図、図4は同共振子の駆動部の動作を説明するための斜視図、図5は同共振子のアームを構成する材料のスティフェネスを示す特性図、図6は菱面体晶構造の圧電薄膜の分極状態を説明する図、図7は正方晶構造の圧電薄膜の分極状態を説明する図である。

【0063】図1～図4において、1は薄膜微小機械式共振子(以下、共振子と呼ぶ)、2、3は共振子1のアーム、4は共振子1の基部、5は共振子1の正面、6、7はアーム2、3の中心線、10、11はアーム2の正面5上に中心線6を境に内側、外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極、12、13はアーム3の正面5上に中心線7を境に内側、外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極、14、16はアーム2、3の中心線6、7を境に内側であり、かつ、第1の電極10、12上にそれぞれ設けられた第1の圧電薄膜、15、17はアーム2、3の中心線6、7を境に外側であり、かつ、第2の電極11、13上にそれぞれ設けられた第2の圧電薄膜、18、20は第1の圧電薄膜14、16の上にそれぞれ設けられた第3の電極、19、21は第2の圧電薄膜15、17の上にそれぞれ設けられた第4の電極である。

【0064】共振子1は、2つのアーム2、3とアーム2、3を連結する基部4とを有したシリコン(Si)から音叉を基材としている。

【0065】図2は図1における共振子1のアーム2、3におけるA-A断面図である。

【0066】アーム2上に設けられた第1の圧電薄膜14と第2の圧電薄膜15は中心線6を境に離間している。同様にアーム3上に設けられた第1の圧電薄膜16と第2の圧電薄膜17は中心線7を境に離間している。また、第3の電極18と第4の電極19も中心線6を境に離間しており、第3の電極20と第4の電極21も中心線7を境に離間している。

【0067】第1の圧電薄膜14、16、第2の圧電薄膜15、17は、いずれもチタン酸ジルコニア鉛(PZT)である。

【0068】以下に共振子1の製作プロセスを簡単に説明する。初めに、略厚さ0.2mmの(110)面のシリコン(Si)ウエハを準備し、このシリコン(Si)ウエハ上に第1、第2の電極10、12、11、13としての下部側を構成するTiをスパッタもしくは蒸着により約100Åの厚さとなるように成膜し、この上に上部側を構成するPt-Ti等の材料をスパッタもしくは蒸着により約4000Åの厚さとなるように成膜し、次にPZT等の圧電薄膜の良好な配向を得るための製造条件の許容範囲を広くすることができるランタンとマグネシウムが添加されたチタン酸鉛(PLMT)膜(図示せず)をスパッタにより約200Åの厚さとなるように成膜し、この上に第1、第2の圧電薄膜14、16、15、17としてのチタン酸ジルコニア鉛(PZT)をスパッタにより、約2~3μmの厚さとなるように成膜する。この後、第3、第4の電極18、20、19、21としての下部側を構成するTiをスパッタもしくは蒸着により約25Åの厚さとなるように成膜し、この上に上部側を構成するAu、Cr、Al、Cu、Ti等の材料をスパッタもしくは蒸着により約3000Åの厚さとなるように成膜する。この後、フォトリソグラフィ技術とドライエッティング技術を用いて、図1、図2に示すような第3、第4の電極18、20、19、21、第1、第2の圧電薄膜14、16、15、17、PLMT膜、第1、第2の電極10、12、11、13、アーム2、3、基部4の形状に加工し、音叉形状の共振子1を得る。このとき、共振子1の振動方向(X方向)とシリコン(Si)の(1-11)面または(-111)面が直角になるようにパターンニングすることにより、振動方向に対してヤング率の高い方向が利用でき固有共振周波数の高い共振子1とすることができる。上記プロセスにより形成された共振子1の寸法は、全幅1mm、全長5mm、全厚さ約0.2mmで、駆動方向(X方向)の1次モードの共振周波数は(f=17kHz)である。

【0069】以下に、この共振子1の動作原理について説明する。

【0070】図3、図4において、31は分極方向を示す矢印、32、33は第1の圧電薄膜14の伸縮方向を示す矢印である。

【0071】図3、図4において、第1の電極10と第3の電極18の間に約DC20Vを印加すると、両電極10、18に挟まれた第1の圧電薄膜14の分極ベクトルの方向は一方向に揃う。例えば、第1の電極10がプラス側に、第3の電極18がマイナス側になるようにDC電圧を印加すると、矢印31に示すような方向に分極ベクトルが向く。以上は、第1の圧電薄膜14についてのみ説明したが、第1の圧電薄膜16、第2の圧電薄膜

15, 17も同じように矢印31に示すような方向に分極ベクトルが向く。このような第1の圧電薄膜14に対して図3に示すように第3の電極18側が第1の電極10側よりも高電位になるように電圧を印加すると第1の圧電薄膜14は矢印に示す方向の分極ベクトルと垂直な矢印32の方向に伸びる。逆に、図4に示すように第3の電極18側が第1の電極10よりも低電位になるように電圧を印加すると第1の圧電薄膜14は矢印31に示す方向の分極ベクトルと垂直な矢印33の方向に縮む。

【0072】したがって、第1の電極10をGND電極又は仮想GND電極とし、第3の電極18に交流電圧を印加すると、第1の圧電薄膜14は矢印32, 33に示すように伸び縮みする。以上は、アーム2上の内側に設けられた駆動部について説明したが、アーム2上の外側に設けられた駆動部、アーム3上の内側、外側に設けられた駆動部についても同様な動作をする。

【0073】また、図2に示す第3、第4の電極18, 19に互いに位相が 180° 異なる交流電圧を印加することで、第1の圧電薄膜14が伸びる場合は、第2の圧電薄膜15は縮む。逆に、第1の圧電薄膜14が縮む場合は、第2の圧電薄膜15は伸びる。

【0074】以上の原理に基づき、第3の電極18, 20に同位相、第4の電極19, 21に対しては第3の電極18, 20と逆位相の交流電圧を印加すると、共振子1のアーム2, 3は互いに逆方向(X方向)に音叉共振する。また、第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17の伸び縮みの量をより均等に発生させ、共振子1をより安定に振動させるためには、アーム2, 3のそれぞれの中心線6, 7を軸として、第1、第2の電極10, 12, 11, 13、第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17及び第3、第4の電極18, 20, 19, 21をほぼ対称に配置することが好ましい。これにより、第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17に発生する駆動電界のバランスが良くなり、第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17の伸び縮みを均等し、共振子1における所定の振動方向(X方向)以外への振動漏れが発生にくくなる。その結果、共振子1の駆動効果が一層向上する。また、共振子1を構成するアーム2, 3、基部4もアーム2, 3に平行な軸とほぼ対称することで、安定な共振が得られる。

【0075】本実施の形態1においては、共振子1の両方のアーム2, 3の一方の主面5に第1、第2、第3、第4の電極及び第1、第2の圧電薄膜を設ける構成について説明してきたが、一方のアームの一方の主面のみ、または、両主面に第1、第2、第3、第4の電極及び第1、第2の圧電薄膜を設けて駆動共振させることも可能である。

【0076】図5はシリコン(Si)(110)面ウェハにおいて、方向によるスティフネスの違いを示す特性図であり、縦軸はスティフネス、横軸は方向に対応した

回転角度であり、0度の<1-10>方向を基点としている。また、図5において、45度あるいは135度のスティフネスが最大になることがわかる。回転角度45度、135度は、それぞれ<1-11>方向、<-111>方向に対応する。したがって、共振子1の共振方向をスティフネスが最大となる<1-11>方向、<-111>方向に選べば、より固有共振周波数の高い共振子を実現することができる。

【0077】図6は図1に示すアーム2, 3の主面5に平行に(001)面が配向した菱面体晶構造の第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17の<001>方向に分極処理を行った後の分極状態を示す。第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17の<001>方向に印加する駆動電界に対して、4つの分極ベクトル方向<111>、<1-11>、<-1-11>、<-111>は等価となり、大きな駆動電界を加えても4つの分極ベクトルが回転することができないため、圧電定数のヒステリシスが少なくなるため、ヒステリシスの少ない共振子1を提供することができる。

【0078】図7は、別の圧電薄膜の例として、図1に示すアーム2, 3の主面5に平行に(111)面が配向した正方晶構造の第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17の<111>方向に分極処理を行った後の分極状態を示す。第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17の<111>方向に印加する電界に対して、3つの分極ベクトル方向<100>、<010>、<001>は等価となり、大きな駆動電界を加えても分極ベクトルが回転することができないために、圧電定数のヒステリシスが少なくなるため、ヒステリシスの少ない共振子1を提供することができる。

【0079】図1に示すように駆動部を構成する第1、第2の電極10, 12, 11, 13、第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17、第3、第4の電極18, 20, 19, 21は、アーム2, 3の主面5の中央部から基部4近傍の間に設けるのが好ましい。何故ならば、アーム2, 3の主面5上においてアーム2, 3の中央部よりも先端側に第1、第2の電極10, 12, 11, 13、第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17、第3、第4の電極18, 20, 19, 21を配置すると、共振子1のアーム2, 3の駆動方向(X方向)の1次モードの共振周波数($f = 17 \text{ kHz}$)におけるアドミッタンスよりも駆動方向(X方向)の2次モードの共振周波数($f = 110 \text{ kHz}$)におけるアドミッタンスが大きくなるため、例えば1次モードの共振周波数で振動させても外部から衝撃等が印加された場合、2次モードの共振周波数で振動してしまう可能性が高いからである。

【0080】本実施の形態1においては、第1、第2の電極10, 12, 11, 13をGND電極又は仮想GND電極とし、第3の電極18, 20に同位相、第4の電極19, 21に対しては第3の電極18, 20と逆位相

の交流電圧を印加する例について説明してきたが、第1の電極10と第2の電極11及び第1の電極12と第2の電極13がそれぞれ離間しているため、第1の電極10, 12と第4の電極19, 21が同相及び第2の電極11, 13と第3の電極18, 20が同相ならびに第1の電極10, 12と第2の電極11, 13が逆相になるように交流電圧を印加することで、各圧電薄膜14, 16, 15, 17へ印加できる駆動電界を大きくできると同時に、各圧電薄膜14, 16, 15, 17へ印加する駆動電界の微調整が可能になる。

【0081】本実施の形態1においては、図1、図2に示すように、第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17の面積を第3、第4の電極18, 20, 19, 21の面積より一回り大きくし、第1、第2の電極10, 12, 11, 13の面積を第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17の面積より一回り大きくしているため、仮に第3、第4の電極18, 20, 19, 21または第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17のいずれかにパターンニングのずれが生じた場合でも第3、第4の電極18, 20, 19, 21と第1、第2の電極10, 12, 11, 13との短絡を防ぐことができる。

【0082】また、本実施の形態1においては、図1、図2に示すように第1、第2の電極10, 12, 11, 13と第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17が露出する例について説明してきたが、第1、第2の電極10, 12, 11, 13と第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17の周辺部をポリイミド等の絶縁膜で覆うことにより、仮に第3、第4の電極18, 20, 19, 21または第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17のいずれかに大きなパターンニングのずれが生じた場合でも第3、第4の電極18, 20, 19, 21と第1、第2の電極10, 12, 11, 13との短絡を防ぐことができる。

【0083】また、本実施の形態1においては、機械的に強度が大であることや半導体プロセス技術により高精度な加工が容易であるという点から音叉構造体にシリコン(Si)を用いた例について説明してきたが、非圧電材料であれば例えば、ダイヤモンド、溶融石英、アルミニウム、GaAsなどを用いることも可能である。

【0084】また、本実施の形態1においては、第1、第2の電極10, 12, 11, 13が、下部に設けられたTi膜と上部に設けられたPt-Ti膜からなるため、Ti膜がシリコンからなる主面5及びPt-Ti膜と密着性が強固で、Pt-Ti膜がアーム2, 3の主面5に平行に(001)面が配向した菱面体晶構造、または、(111)面が配向した正方晶構造のPZTからなる第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17を良好に形成でき、ヒステリシスの少ない共振子1が実現できる。また、第1、第2の電極10, 12, 11, 13の上部側にはIr-Ti膜等も使用可能である。しかし、

必ずしもこれらの構成のみに限定されるものではない。

【0085】また、本実施の形態1においては、圧電薄膜の材料としてPZTを用いて説明してきたが、PZTにMg, Nb, Mnの内から少なくとも1つを加えたPZT系の材料用いることも可能である。このようにPZT, PZT系の材料を用いることで圧電定数が大きいため、電気・機械変換効率が高くなる。圧電薄膜を形成する手法は、スパッタ法以外に、蒸着法、ゾル・ゲル法、レーザープレーリング法、水熱合成法、CVD法によっても形成することが可能である。

【0086】本実施の形態1に示す構成により、第3、第4の電極18, 20, 19, 21の下側に形成される第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17、第1、第2の電極10, 12, 11, 13がそれぞれ離間されているため、駆動に寄与しない電界成分を低減させ、かつ、圧電薄膜の自由な伸縮を妨げず、共振子1の駆動効率が向上する。

【0087】また、図1に示すように音叉形状の共振子1の一方の主面5のみに第1、第2、第3、第4の電極10, 12, 11, 13, 18, 20, 19, 21及び第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17を構成しており、簡易なプロセスで作製可能であり量産性に優れる。

【0088】また、本実施の形態においては、アーム2, 3、基部4からなる音叉の主面5としてシリコン(Si)(110)面ウエハの例について説明したが、シリコン(Si)(100)面ウエハを用いることも可能である。このウエハに関して、0度の<010>方向を基点とする方向(回転角度)によるスティフネスを考察すると、<010>方向、<011>方向または<001>方向において角度のズレに対するスティフネスの変化が小さくなる。したがって、(100)面ウエハにおける(010)面、(011)面または(001)面を共振方向(X方向)と直角にすることで、角度のズレに対するスティフネスの変化が小さく音叉の固有共振周波数のバラツキの小さい共振子が得られる。また、<011>方向はスティフネスも大きいため、この方向を採用することで固有共振周波数の高い共振子を実現することもできる。

【0089】(実施の形態2) 図8は本発明の実施の形態2における薄膜微小機械式共振子ジャイロの斜視図、図9は同共振子ジャイロのアームのB-B断面図である。本実施の形態2において、実施の形態1において述べた構成と同一構成部分には同一番号を付して詳細な説明を省略し、異なる部分についてのみ詳述する。

【0090】図8、図9において、40は薄膜微小機械式共振子ジャイロ(以下、共振子ジャイロと呼ぶ)、41, 42は第5の電極、43, 44は第3の圧電薄膜、45, 46は第6の電極、47は第1の引き出し電極、48, 49は絶縁膜、50, 51は第2の引き出し電極

である。

【0091】シリコン(Si)からなるアーム2、3の正面5上のはば中央部から先端の間に印加された角速度を検出するための検知部が設けられている。この検知部は、アーム2、3の正面5上にそれぞれ設けられた第5の電極41、42とこの第5の電極41、42上にそれぞれ設けられた第3の圧電薄膜43、44とこの第3の圧電薄膜43、44上にそれぞれ設けられた第6の電極45、46とから構成されている。第5の電極41、42は、第1、第2の電極10、12、11、13と同様に下部側を構成する略100Åの厚さのTi膜と、この上に上部側を構成する略4000Åの厚さのPt-Ti等の材料からなる膜よりなる。同じく、Pt-Ti等の材料からなる膜とPZT等からなる第3の圧電薄膜43との間に略200Åの厚さのPLMT膜が設けられている。さらに、第3の圧電薄膜43の上に設けられている第6の電極45も第3、第4の電極18、20、19、21と同様に下部側を構成する略25Åの厚さのTi膜と、この上に上部側を構成する略3000Åの厚さのAu等の材料からなる膜よりなる。

【0092】また、アーム2の正面5上に中心線6を含むように、かつ、第1、第2の電極10、11とは離間するように設けられた第1の引き出し電極47は第5の電極41と接続されており、第1の引き出し電極47は第5の電極41と同様に下部側を構成する略100Åの厚さのTi膜と、この上に上部側を構成する略4000Åの厚さのPt-Ti等の材料からなる膜よりなる。絶縁膜48はポリイミド等からなり、第1の引き出し電極47を覆い、かつ、第1、第2の電極10、11の間及び第1、第2の圧電薄膜14、15の間を埋めるように設けられている。さらに、絶縁膜48の上には中心線6を含むように、かつ、第3、第4の電極18、19とは離間するように第2の引き出し電極50が設けられ、第6の電極45と接続されている。第2の引き出し電極50は第6の電極45と同様に下部側を構成する略25Åの厚さのTi膜と、この上に上部側を構成する略3000Åの厚さのAu等の材料からなる膜よりなる。同じく、アーム3の正面5上に中心線7(図示せず)を含むように、かつ、第1、第2の電極12、13とは離間するように第1の引き出し電極が設けられており、この第1の引き出し電極は第5の電極42と接続されている。この第1の引き出し電極の上には絶縁膜48と同じ構成の絶縁膜49が設けられている。さらに、絶縁膜49の上には中心線7(図示せず)を含むように、かつ、第3、第4の電極20、21とは離間するように第2の引き出し電極51が設けられており、この第2の引き出し電極51は第6の電極46と接続されている。

【0093】本実施の形態2においては、図8、図9に示すように第1、第2の圧電薄膜14、16、15、17の面積を第3、第4の電極18、20、19、21の

面積より一回り大きくし、第1、第2の電極10、12、11、13の面積を第1、第2の圧電薄膜14、16、15、17の面積より一回り大きくしているため、仮に第3、第4の電極18、20、19、21または第1、第2の圧電薄膜14、16、15、17のいずれかにパターンニングのずれが生じた場合でも第3、第4の電極18、20、19、21と第1、第2の電極10、12、11、13との短絡を防ぐことができる。また、第3の圧電薄膜43、44の面積を第6の電極45、46の面積より一回り大きくし、第5の電極41、42の面積を第3の圧電薄膜43、44の面積より一回り大きくしているため、仮に第6の電極45、46または第3の圧電薄膜43、44のいずれかにパターンニングのずれが生じた場合でも第6の電極45、46と第5の電極41、42との短絡を防ぐことができる。

【0094】図8、図9においては、絶縁膜48、49は基本的に第1、第2の電極10、11の間、第1、第2の圧電薄膜14、15の間、第1、第2の電極12、13の間及び第1、第2の圧電薄膜16、17の間を埋めるように設けられた例について説明したが、第1、第2の電極10、12、11、13の側面全体も含めた周辺部全体及び第1、第2の圧電薄膜14、16、15、17の側面全体も含めた周辺部全体を覆うのがより好ましい。さらに、第5の電極41、42の側面全体も含めた周辺部全体及び第3の圧電薄膜43、44の側面全体も含めた周辺部全体を絶縁膜で覆うのがより好ましい。このように構成することにより、第3、第4の電極18、20、19、21、第6の電極45、46、または、第1、第2の圧電薄膜14、16、15、17、第3の圧電薄膜43、44のいずれかに大きなパターンニングのずれが生じた場合にも、第1の電極10と第3の電極18の間、第1の電極12と第3電極20の間、第2の電極11と第4の電極19の間、第2の電極13と第4の電極21の間、第5の電極41と第6の電極45の間及び第5の電極42と第6の電極46の間での短絡を防ぐことができる。

【0095】また、共振子ジャイロ40の寸法は、全幅1mm、全長5mm、全厚さ約0.2mmで、駆動方向(X方向)の1次モードの共振周波数は実施の形態1で述べた通り $f = 17\text{ kHz}$ で、検出方向{(正面5に対して直角な方向)=Z方向}の1次モードの共振周波数は $f = 16\text{ kHz}$ である。

【0096】以下に、角速度の検出原理について説明する。

【0097】実施の形態1で説明したようにアーム2、3がX方向に $f = 17\text{ kHz}$ で共振している状態でY軸回りに角速度が印加されると、アーム2、3はコリオリ力によりZ軸方向に互に逆向きに揺る。この揺みによりアーム2、3上にそれぞれ設けられている第3の圧電薄膜43、44には、それぞれ逆向きの電荷が発生する。

この逆向きの電荷を第6の電極45, 46より検出することにより、印加された角速度に対応した出力が得られる。

【0098】本実施の形態2において、第1、第2の電極10, 12, 11, 13、第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17が、実施の形態1で説明したようにアーム2, 3の中心線6, 7(図2に示す)を境に離間されているため、駆動に寄与しない電界成分を低減させ、かつ、圧電薄膜の自由な伸縮を妨げ難いため、駆動効率が向上し、印加された角速度に対する検出出力の感度が向上した共振子ジャイロ40を実現できる。また、駆動のための第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17と検出のための第3の圧電薄膜43, 44も離間されているため、第3、第4の電極18, 20, 19, 21と第6の電極45, 46間に発生する容量結合成分が低減し、印加された角速度に対する検出出力が安定化(例えは、温度変化に対する検出出力の安定性が高くなる。)した共振子ジャイロ40を実現できる。

【0099】また、本実施の形態2においても実施の形態1と同じく、第1、第2の電極10, 12, 11, 13をGND電極又は仮想GND電極とし、第3の電極18, 20に同位相、第4の電極19, 21に対しては第3の電極18, 20と逆位相の交流電圧を印加する例について説明してきたが、第1と第4の電極が同相及び第2と第3の電極が同相並びに前記第1と第2の電極が逆相になるように交流電圧を印加することができるため、各圧電薄膜14, 16, 15, 17へ印加できる駆動電界をより大きくでき、駆動効率がより向上し印加された角速度に対する検出感度をより向上させることができる。また、駆動時間の短縮化、低消費電力化を図ることも可能になる。

【0100】本実施の形態2において、第3、第4の電極18, 20, 19, 21、第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17は、実施の形態1と同様にアーム2, 3の中心線6, 7を軸にしてそれぞれ対称に配置されているため、共振子ジャイロ40において所定の振動方向(X方向)以外への振動漏れが発生しにくく、印加された角速度に対する検出出力の高品位化と一層の高感度化を図ることができる。

【0101】また、実施の形態2において、第3の圧電薄膜43, 44と第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17が離間し、かつ、第6の電極45, 46と第3、第4の電極18, 20, 19, 21が離間しているため、第6の電極45, 46と第3、第4の電極18, 20, 19, 21の間に発生する容量結合成分が低減し、印加された角速度に対する検出出力の安定化を図ることができる。

【0102】また、本実施の形態2において、第1、第2、第3、第4、第5、第6の電極10, 12, 11, 13, 18, 20, 19, 21, 41, 42, 45, 4

6、第1、第2の引き出し電極47(絶縁膜49下の第1の引き出し電極は図示せず)、50, 51、第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17及び第3の圧電薄膜43, 44が、アーム2, 3の中心線6, 7を軸にしてそれぞれ対称に配置されているため、第3、第4の電極18, 20, 19, 21と第6の電極45, 46の間に発生する容量結合成分及び、第3、第4の電極18, 20, 19, 21と第2の引き出し電極50, 51の間に発生する容量結合成分をキャンセルすることができるばかりか、X方向への駆動振動時に第6の電極45, 46に発生する電荷をキャンセルすることができ、極めて高精度な共振子ジャイロ40を実現することができる。

【0103】本実施の形態2においては、印加された角速度の検出を圧電式に検出する例について説明してきたが、これ以外にも抵抗効果、静電容量効果、光ピックアップ等を用いて検出することも可能である。

【0104】(実施の形態3)図10(a)は本発明の実施の形態3における薄膜微小機械式共振子ジャイロの一方の主面側から見た斜視図、図10(b)は同共振子ジャイロの他方の主面側から見た斜視図、図11は同共振子ジャイロのアームのC-C断面図である。本実施の形態3において、実施の形態1, 2において述べた構成と同一構成部分には同一番号を付して詳細な説明を省略し、異なる部分についてのみ詳述する。

【0105】図10、図11において、60は薄膜微小機械式共振子ジャイロ(以下共振子ジャイロと呼ぶ)、61は共振子ジャイロ60の一方の主面5と対向する反対側(他方)の主面、62, 63はアーム2, 3の主面61上にそれぞれ設けられた第5の電極、64, 65は第5の電極62, 63上にそれぞれ設けられた第3の圧電薄膜、66, 67は第3の圧電薄膜64, 65上にそれぞれ設けられた第6の電極である。第5の電極62, 63、第3の圧電薄膜64, 65と第6の電極66, 67により検知部が構成されている。

【0106】共振子ジャイロ60の検知部を構成する第5の電極62, 63、第3の圧電薄膜64, 65と第6の電極66, 67の材料、製作プロセスも実施の形態1, 2で説明したものと基本的に同じである。

【0107】本実施の形態3においては、図10、図11に示すように第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17の面積を第3、第4の電極18, 20, 19, 21の面積より一回り大きくし、第1、第2の電極10, 12, 11, 13の面積を第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17の面積より一回り大きくしているため、仮に第3、第4の電極18, 20, 19, 21または第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17のいずれかにバターンニングのずれが生じた場合でも第3、第4の電極18, 20, 19, 21と第1、第2の電極10, 12, 11, 13との短絡を防ぐことができる。また、第3の圧電薄膜64, 65の面積を第6の電極6

6, 6 7 の面積より一回り大きくなり、第 5 の電極 6 2, 6 3 の面積を第 3 の圧電薄膜 6 4, 6 5 の面積より一回り大きくしているため、仮に第 6 の電極 6 6, 6 7 または第 3 の圧電薄膜 6 4, 6 5 のいずれかにパターンニングのそれが生じた場合でも第 6 の電極 6 6, 6 7 と第 5 の電極 6 2, 6 3 との短絡を防ぐことができる。

【0108】本実施の形態 3において、図 10 (a) に示す駆動部は、図 8 に示す位置と同じ部位に設けられているが、図 10 (b) に示す検知部はシリコン (Si) からなるアーム 2, 3 の主面 6 1 上の先端から基部 4 近傍までの全域に設けられている。何故ならば、検知部は駆動方向 (X 方向) の共振周波数のアドミッタンス特性にほとんど影響しない、かつ、駆動部が同一位置に設けられていないため、コリオリ力に起因してアーム 2, 3 に発生する歪が最も大きな基部 4 近傍を含めて、検出面積を大きくすることができます。

【0109】本実施の形態 3においては、検知部を両アーム 2, 3 の両方の全域にわたって構成した例について説明したが、少なくともいずれか一方のアーム 2, 3 の少なくともいずれか一方の主面 6 1 のほぼ中央部から基部 4 近傍の間に設けられていればよい。

【0110】本実施の形態 3においては、駆動部、検知部とともに両アーム 2, 3 の両主面 5, 6 1 の少なくとも中央部から基部 4 近傍の間に設けられているため、印加された角速度に対する検出出力の精度が向上するばかりか、検出出力の高感度化も共に図ることができる。

【0111】本実施の形態 3において、第 1、第 2 の電極 1 0, 1 2, 1 1, 1 3、第 1、第 2 の圧電薄膜 1 4, 1 6, 1 5, 1 7 が、実施の形態 1, 2 で説明したようにアーム 2, 3 の中心線 6, 7 (図 2 に示す) を境に離間されているため、駆動に寄与しない電界成分を低減させ、かつ、圧電薄膜の自由な伸縮を妨げ難いため、駆動効率が向上し、印加された角速度に対する検出出力の感度が向上した共振子ジャイロ 6 0 を実現できる。また、駆動のための第 1、第 2 の圧電薄膜 1 4, 1 6, 1 5, 1 7 と検出のための第 3 の圧電薄膜 6 4, 6 5 も離間されているため、第 3、第 4 の電極 1 8, 2 0, 1 9, 2 1 と第 6 の電極 6 6, 6 7 間に発生する容量結合成分が低減し、印加された角速度に対する検出出力が安定化 (例えば、温度変化に対する検出出力の安定性が高くなる。) した共振子ジャイロ 6 0 を実現できる。

【0112】また、本実施の形態 3においても実施の形態 1, 2 と同じく、第 1、第 2 の電極 1 0, 1 2, 1 1, 1 3 を GND 電極又は仮想 GND 電極とし、第 3 の電極 1 8, 2 0 に同位相、第 4 の電極 1 9, 2 1 に対しては第 3 の電極 1 8, 2 0 と逆位相の交流電圧を印加する際について説明してきたが、第 1 と第 4 の電極が同相及び第 2 と第 3 の電極が同相並びに前記第 1 と第 2 の電極が逆相になるように交流電圧を印加することができるため、各圧電薄膜 1 4, 1 6, 1 5, 1 7 へ印加できる

駆動電界をより大きくでき、駆動効率がより向上し印加された角速度に対する検出感度をより向上させることができる。また、起動時間の短縮化、低消費電力化を図ることも可能になる。

【0113】本実施の形態 3において、第 3、第 4 の電極 1 8, 2 0, 1 9, 2 1、第 1、第 2 の圧電薄膜 1 4, 1 6, 1 5, 1 7 は、実施の形態 1, 2 と同様にアーム 2, 3 の中心線 6, 7 を軸にしてそれぞれ対称に配置されているため、共振子ジャイロ 6 0 において所定の振動方向 (X 方向) 以外への振動漏れが発生しにくく、印加された角速度に対する検出出力の高品位化と一層の高感度化を図ることができる。

【0114】また、本実施の形態 3において、第 3 の圧電薄膜 6 4, 6 5 と第 1、第 2 の圧電薄膜 1 4, 1 6, 1 5, 1 7 が離間し、かつ、第 6 の電極 6 6, 6 7 と第 3、第 4 の電極 1 8, 2 0, 1 9, 2 1 が離間しているため、第 6 の電極 6 6, 6 7 と第 3、第 4 の電極 1 8, 2 0, 1 9, 2 1 の間に発生する容量結合成分が低減し、印加された角速度に対する検出出力の安定化を図ることができる。

【0115】(実施の形態 4) 図 12 は本発明の実施の形態 4 における薄膜微小機械式共振子ジャイロの斜視図、図 13 は同共振子ジャイロのアームの D-D 断面図である。本実施の形態 4 において、実施の形態 1, 2, 3 において述べた構成と同一構成部分には同一番号をして詳細な説明を省略し、異なる部分についてのみ詳述する。

【0116】図 12、図 13 において、7 0 は薄膜微小機械式共振子ジャイロ (以下、共振子ジャイロと呼ぶ)、7 1 は絶縁膜としての第 4 の圧電薄膜である。第 4 の圧電薄膜 7 1 の材料、製作プロセスも実施の形態 1, 2, 3 で説明したものと基本的に同じである。

【0117】アーム 2 の主面 5 上に中心線 6 を含むように、かつ、第 1、第 2 の電極 1 0, 1 1 とは離間するように設けられた第 1 の引き出し電極 4 7 (この第 1 の引き出し電極 4 7 は、第 5 の電極 4 1 と接続されている) 上に略 200 Å の厚さの PLMT 膜を介して第 1、第 2、第 3 の圧電薄膜 1 4, 1 5, 4 3 と同じ厚さの PZT 等からなる第 4 の圧電薄膜 7 1 が設けられている。さらに、この第 4 の圧電薄膜 7 1 は第 3 の圧電薄膜 4 3 に接続され、かつ、この第 4 の圧電薄膜 7 1 の上に第 2 の引き出し電極 5 0 が設けられている。また、アーム 3 の主面 5 上に設けられた第 1 の引き出し電極 (図示せず) 上にもアーム 2 の主面 5 上に設けられた構成とまったく同じ構成で第 4 の圧電薄膜 (図示せず)、第 2 の引き出し電極 5 1 が設けられている。

【0118】本実施の形態 4 においては、第 1 の引き出し電極 4 7 (アーム 3 上の第 1 の引き出し電極は図示せず) と第 2 の引き出し電極 5 0, 5 1 の間の絶縁膜として第 4 の圧電薄膜 7 1 (第 2 の引き出し電極 5 1 の下の

第4の圧電薄膜は図示せず)が用いられているため、量産性が一段と向上する。

【0119】本実施の形態4において、第1、第2の電極10, 12, 11, 13、第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17が、実施の形態1, 2, 3で説明したようにアーム2, 3の中心線6, 7(図2に示す)を境に離間されているため、駆動に寄与しない電界成分を低減させ、かつ、圧電薄膜の自由な伸縮を妨げ難いため、駆動効率が向上し、印加された角速度に対する検出出力の感度の向上した共振子ジャイロ70を実現できる。また、駆動のための第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17と検出のための第3の圧電薄膜43, 44も離間されているため、第3、第4の電極18, 20, 19, 21と第6の電極45, 46間に発生する容量結合成分が低減し、印加された角速度に対する検出出力が安定化(例えば、温度変化に対する検出出力の安定性が高くなる。)した共振子ジャイロ70を実現できる。

【0120】また、本実施の形態4においても実施の形態1, 2, 3と同じく、第1、第2の電極10, 12, 11, 13をGND電極又は仮想GND電極とし、第3の電極18, 20に同位相、第4の電極19, 21に対しては第3の電極18, 20と逆位相の交流電圧を印加する例について説明してきたが、第1と第4の電極が同相及び第2と第3の電極が同相並びに前記第1と第2の電極が逆相になるように交流電圧を印加することができるため、各圧電薄膜14, 16, 15, 17へ印加できる駆動電界をより大きくでき、駆動効率がより向上し印加された角速度に対する検出感度をより向上させることができる。また、起動時間の短縮化、低消費電力化を図ることも可能になる。

【0121】本実施の形態4において、第3、第4の電極18, 20, 19, 21、第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17は、実施の形態1, 2, 3と同様にアーム2, 3の中心線6, 7を軸にしてそれぞれ対称に配置されているため、共振子ジャイロ70において所定の振動方向(X方向)以外への振動漏れが発生にくく、印加された角速度に対する検出出力の高品位化と一層の高感度化を図ることができる。

【0122】また、本実施の形態4において、第3の圧電薄膜43, 44と第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17が離間し、かつ、第6の電極45, 46と第3、第4の電極18, 20, 19, 21が離間しているため、第6の電極45, 46と第3、第4の電極18, 20, 19, 21の間に発生する容量結合成分が低減し、印加された角速度に対する検出出力の安定化を図ることができる。

【0123】また、本実施の形態4において、第1、第2、第3、第4、第5、第6の電極10, 12, 11, 13, 18, 20, 19, 21, 41, 42, 45, 4

6、第1、第2の引き出し電極47(アーム3上の第1の引き出し電極は図示せず)、50, 51、第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17及び第3の圧電薄膜43, 44が、アーム2, 3の中心線6, 7を軸にしてそれぞれ対称に配置されているため、第3、第4の電極18, 20, 19, 21と第6の電極45, 46の間に発生する容量結合成分及び、第3、第4の電極18, 20, 19, 21と第2の引き出し電極50, 51の間に発生する容量結合成分をキャンセルすることができるばかりか、X方向への駆動振動時に第6の電極45, 46に発生する電荷をキャンセルすることができ、極めて高精度な共振子ジャイロ70を実現することができる。

【0124】本実施の形態4においては、図12、図13に示すように第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17の面積を第3、第4の電極18, 20, 19, 21の面積より一回り大きくし、第1、第2の電極10, 12, 11, 13の面積を第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17の面積より一回り大きくしているため、仮に第3、第4の電極18, 20, 19, 21または第1、第2の圧電薄膜14, 16, 15, 17のいずれかにパターンニングのずれが生じた場合でも第3、第4の電極18, 20, 19, 21と第1、第2の電極10, 12, 11, 13との短絡を防ぐことができる。また、第3の圧電薄膜43, 44の面積を第6の電極45, 46の面積より一回り大きくし、第5の電極41, 42の面積を第3の圧電薄膜43, 44の面積より一回り大きくしているため、仮に第6の電極45, 46または第3の圧電薄膜43, 44のいずれかにパターンニングのずれが生じた場合でも第6の電極45, 46と第5の電極41, 42との短絡を防ぐことができる。また、第4の圧電薄膜71(第2の引き出し電極51の下の第4の圧電薄膜は図示せず)の面積を第2の引き出し電極50, 51の面積より一回り大きくし、第1の引き出し電極47(アーム3上の第1の引き出し電極は図示せず)の面積を第4の圧電薄膜71(第2の引き出し電極51の下の第4の圧電薄膜は図示せず)の面積より一回り大きくしているため、仮に第2の引き出し電極50, 51または第4の圧電薄膜71(第2の引き出し電極51の下の第4の圧電薄膜は図示せず)のいずれかにパターンニングのずれが生じた場合でも第2の引き出し電極50, 51と第1の引き出し電極47(アーム3上の第1の引き出し電極は図示せず)との短絡を防ぐことができる。

【0125】また、本実施の形態2, 3, 4においては、機械的強度が大であることや半導体プロセス技術により高精度な加工が容易であるという点から共振子ジャイロ40, 60, 70の音叉構造体にシリコン(Si)を用いているため、大きな振幅で音叉共振させることができとなり、印加された角速度に対する検出出力を高感度にすることが可能である。また、音叉構造体は非圧電

材料であれば例えば、ダイヤモンド、溶融石英、アルミニウム、GaN等などを用いることも可能である。

【0126】実施の形態2、3、4においても、実施の形態1に述べたと同様に圧電薄膜としてはPZT以外にもPZT系の材料を用いることは当然可能である。これにより、圧電薄膜の圧電定数が大きく、電気・機械変換効率が高くなり、印加された角速度に対する検出出力の高感度化を図ることが可能となる。また、圧電薄膜の配向に関しても、実施の形態1で述べたと同様に(001)面がアームの主面に配向した菱面体晶構造、または、(111)面がアームの主面に配向した正方晶構造のものを用いることは当然可能である。これにより、印加された駆動電界の方向に対して複数の分極のベクトルの角度が全て等しくなり、印加された角速度に対する検出出力が安定する。

【0127】実施の形態2、3、4においては、両アーム2、3共に駆動部を設けた例について説明してきたが、少なくともいずれか一方のアームの少なくともいずれか一方の主面のほぼ中央部から基部近傍の間に設けられていればよい。

【0128】実施の形態2、3、4で説明した共振子ジャイロ40、60、70は、印加された角速度に対する検出出力が高精度、かつ、高感度であるため、この出力を用いることにより、ナビゲーションシステムの高精度化を図ることができる。同様に、ヨーレートセンサ、ピッキングセンサとしてこの出力を用いることにより自動車の安定走行及びローリングセンサとしてこの出力を用いることによりエアバックシステムにおける高精度な制御が可能となる。その他にもカメラ等様々な機器やシステムに本共振子ジャイロ40、60、70を用いることができる。

【0129】

【発明の効果】以上のように本発明は、薄膜微小機械式共振子において、少なくとも2つのアームとこのアームを連結する少なくとも1つの基部とを有した非圧電材料からなる音叉と、この音叉の少なくとも1つのアームの少なくとも1つの主面上の中心線より内側及び外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極と、この第1、第2の電極上にそれぞれ設けられた第1、第2の圧電薄膜と、この第1、第2の圧電薄膜上にそれ設けられた第3、第4の電極とを備え、前記第3、第4の電極に互いに逆相の交流電圧を印加することにより前記音叉がX方向に共振するように構成されているため、駆動に寄与しない電界成分を低減させ、かつ、圧電薄膜の自由な伸縮を妨げず、駆動効率の向上した薄膜微小機械式共振子が得られる。

【0130】また、本発明は、薄膜微小機械式共振子ジャイロにおいて、少なくとも2つのアームとこのアームを連結する少なくとも1つの基部とを有した非圧電材料からなる音叉と、この音叉の少なくとも1つのアームの

少なくとも1つの主面上の中心線より内側及び外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極と前記第1、第2の電極上にそれぞれ設けられた第1、第2の圧電薄膜と前記第1、第2の圧電薄膜上にそれぞれ設けられた第3、第4の電極とを有する駆動部と、前記音叉の少なくとも1つのアームの主面上に設けられた検知部とを備え、前記第3、第4の電極に互いに逆相の交流電圧を印加することにより前記音叉がX方向に共振し、印加された角速度により前記音叉のアームの主面に直角の方向(Z方向)に発生するコリオリ力に起因した前記アームの撓みを前記検知部により電気的または光学的な出力として検出するように構成されているため、駆動に寄与しない電界成分を低減させ、かつ、圧電薄膜の自由な伸縮を妨げ難いため、駆動効率が向上し、印加された角速度に対する検出出力の感度が向上した薄膜微小機械式共振子ジャイロが得られる。

【0131】また、本発明は、薄膜微小機械式共振子ジャイロにおいて、少なくとも2つのアームとこのアームを連結する少なくとも1つの基部とを有した非圧電材料からなる音叉と、この音叉の少なくとも1つのアームの少なくとも1つの主面上の中心線より内側及び外側にそれぞれ離間するように設けられた第1、第2の電極と前記第1、第2の電極上にそれぞれ設けられた第1、第2の圧電薄膜と前記第1、第2の圧電薄膜上にそれぞれ設けられた第3、第4の電極とを有する駆動部と、前記主面上に設けられた前記第1、第2の電極に対して離間しつつ前記第1、第2の電極よりも前記アームの先端側に設けられた第5の電極と前記第5の電極上に設けられた第3の圧電薄膜と前記第3の圧電薄膜上に設けられた第6の電極とを有する検知部と、前記第1、第2の電極の間に離間するように設けられ前記第5の電極と接続された第1の引き出し電極と前記第1の引き出し電極上に設けられた第4の圧電薄膜と前記第4の圧電薄膜上に設けられ前記第6の電極と接続された第2の引き出し電極とを有するリード部とを備え、前記第3、第4の電極に互いに逆相の交流電圧を印加することにより前記音叉がX方向に共振し、印加された角速度により前記音叉のアームの主面に直角の方向(Z方向)に発生するコリオリ力に起因した振動によって生ずる電荷を前記第6の電極により検出するように構成されているため、駆動に寄与しない電界成分を低減させ、かつ、圧電薄膜の自由な伸縮を妨げ難いため、駆動効率が向上し、印加された角速度に対する検出出力の感度が向上した薄膜微小機械式共振子ジャイロが得られる。また、第1の引き出し電極と第2の引き出し電極の間の絶縁膜として第4の圧電薄膜が用いられているため、量産性が一段と向上した薄膜微小機械式共振子ジャイロが得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1における薄膜微小機械式共振子の斜視図

【図2】同共振子のアームのA-A断面図

【図3】同共振子の駆動部の動作を説明するための斜視図

【図4】同共振子の駆動部の動作を説明するための斜視図

【図5】同共振子のアームを構成する材料のスティフネスを示す特性図

【図6】菱面体晶構造の圧電薄膜の分極状態を説明する図

【図7】正方晶構造の圧電薄膜の分極状態を説明する図
【図8】本発明の実施の形態2における薄膜微小機械式共振子ジャイロの斜視図

【図9】同共振子ジャイロのアームのB-B断面図

【図10】(a) 本発明の実施の形態3における薄膜微小機械式共振子ジャイロの一方の主面側から見た斜視図
(b) 同共振子ジャイロの他方の主面側から見た斜視図

【図11】同共振子ジャイロのアームのC-C断面図

【図12】本発明の実施の形態4における薄膜微小機械式共振子ジャイロの斜視図

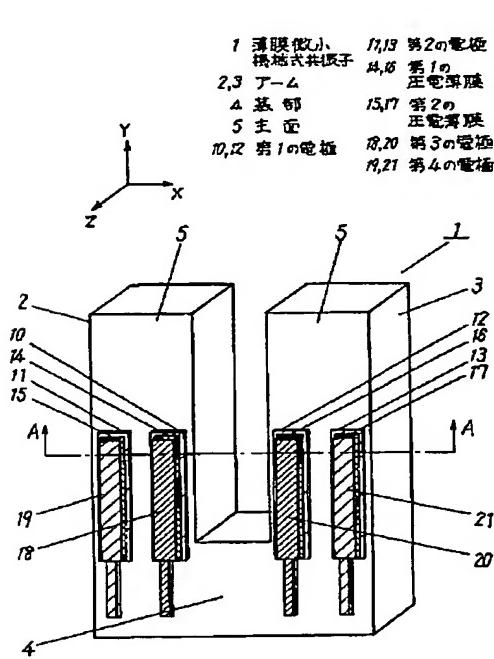
【図13】同共振子ジャイロのアームのD-D断面図

【図14】従来の薄膜微小機械式共振子ジャイロの斜視図
【図15】同共振子ジャイロの駆動部のE-E断面図

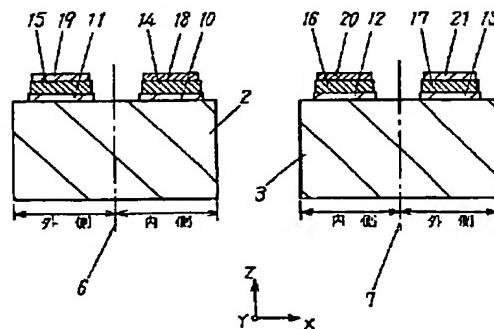
【符号の説明】

- 1 薄膜微小機械式共振子
- 2, 3 アーム
- 4 基部
- 5, 6 1 主面
- 6, 7 中心線
- 10, 12 第1の電極
- 11, 13 第2の電極
- 14, 16 第1の圧電薄膜
- 15, 17 第2の圧電薄膜
- 18, 20 第3の電極
- 19, 21 第4の電極
- 31 分極方向を示す矢印
- 32, 33 伸縮方向を示す矢印
- 40, 60, 70 薄膜微小機械式共振子ジャイロ
- 41, 42, 62, 63 第5の電極
- 43, 44, 64, 65 第3の圧電薄膜
- 45, 46, 66, 67 第6の電極
- 47 第1の引き出し電極
- 48, 49 絶縁膜
- 50, 51 第2の引き出し電極
- 71 第4の圧電薄膜

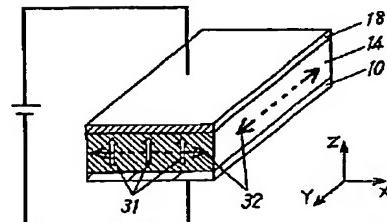
【図1】



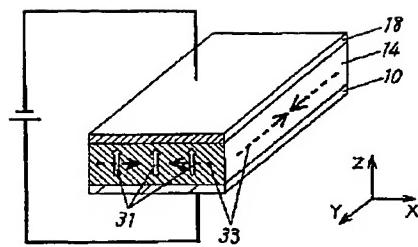
【図2】



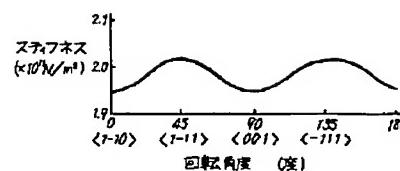
【図3】



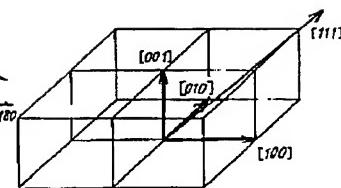
【図4】



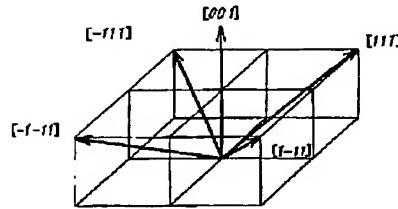
【図5】



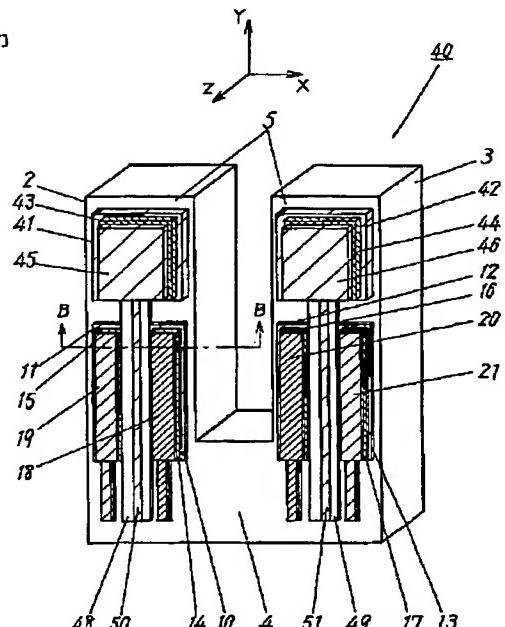
【図7】



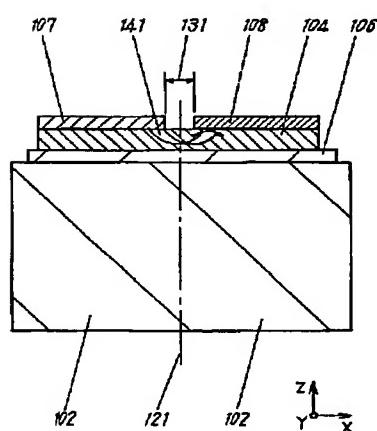
【図6】



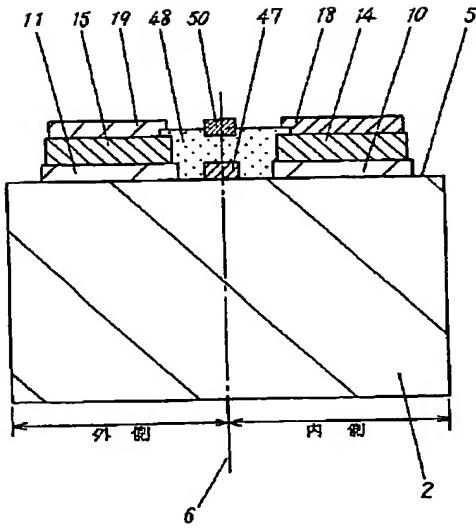
【図8】



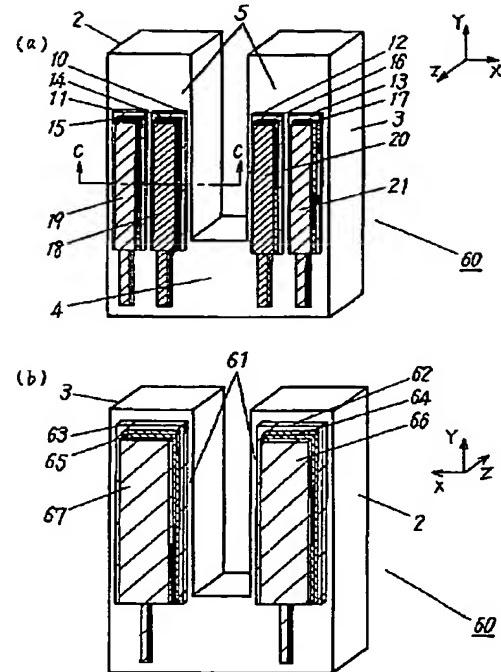
【図15】



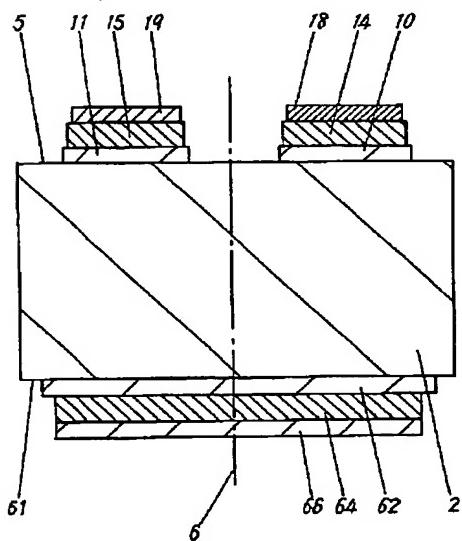
【図9】



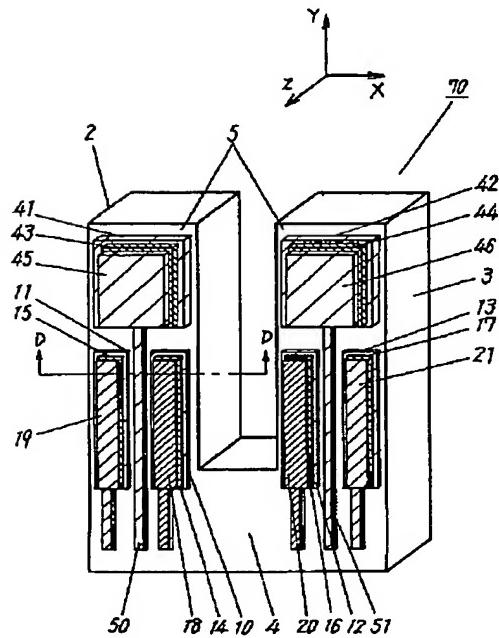
【図10】



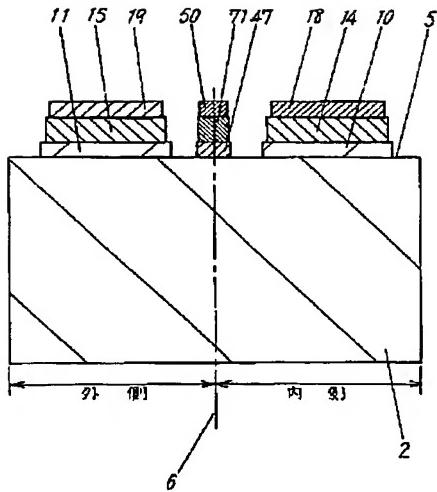
【図11】



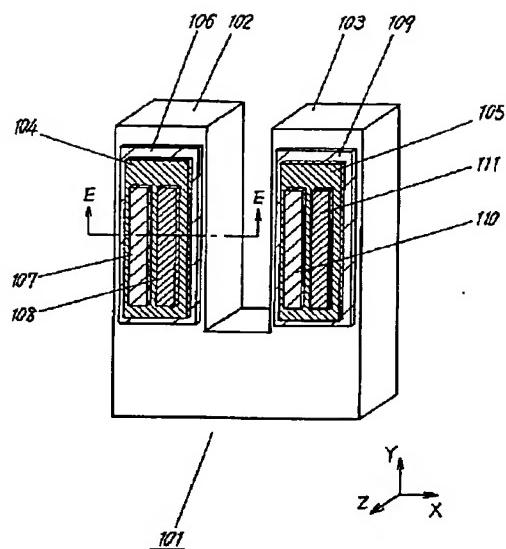
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

「マークド」(参考)

H O I L 41/08

U

41/18

1 O 1 Z

(72) 発明者 野村 幸治

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 多鹿 博文

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

F ターム(参考) 2F105 AA02 BB02 CC01 CD02 CD06